

Grundlagen der Audiotechnik

Dieses Dokument ist im Zuge eines Audioseminares entstanden. Als Grundlage diene "Das Handbuch der Tonstudioteknik" in 8. Auflage von Michael Dickreiter.

von Martin Enders und Clemens Barnikow

Schallschwingungen

Definition

Bezeichnet mechanische Schwingungen und Wellen in einem elastischen Medium.

Schallschwingungen treten

also nicht nur in Luft, sondern auch in Wasser oder in Festkörper auf. Häufig wird Körperschall erzeugt und dem

Ohr oder Mikrofon durch das Medium Luft zugeführt.

Hörbereich

Das menschliche Gehör kann Schallwellen im Bereich 16Hz - 16kHz (entspricht 16.000Hz) wahrnehmen. Der

genaue Hörbereich ist allerdings von Mensch zu Mensch unterschiedlich. Vielerlei Faktoren, wie das Alter, die

Lautstärke am Arbeitsplatz, etc. spielen dabei eine Rolle.

Schwingung

Schwingungen sind Vorgänge, deren Verhalten nach einem bestimmten periodischen Zeitabschnitt stets wieder

den gleichen Zustand erreicht. Bei gegensätzlicher Phase ($\pm 180^\circ$) löschen sich zwei

Schwingungen gleicher

Frequenz aus.

image 1604689342857.jpeg

Überlagern sich zwei Frequenzen gleicher Amplitude, deren Frequenz sich nur gering unterscheidet, so entsteht eine vollkommene Schwebung. Bei der solch einer Überlagerung treten Maxima und Minima auf. Diese werden auch als positive bzw. negative Interferenzen beschrieben.

image 1604689388062.jpeg

Jede noch so unregelmäßig verlaufende, aber periodische Schwingung lässt sich in einzelne sinusförmige Teilschwingungen zerlegen. Mithilfe der Fourieranalyse, kann eine überlagerte Schwingung in ihre Teilschwingungen zerlegt werden um das Frequenzspektrum eines Signals zu zeigen.

Ton

Akustik

Ein reiner Ton ist eine sinusförmige Schallschwingung. Eine perfekter Sinus ist in der Natur nicht zu finden und auch technisch nicht zu realisieren. Näherungsweise lässt er sich durch Signalgeneratoren erzeugen.

image 1604689465447.jpeg

Musik

In der Musik entspricht der Ton einer Note. Hierbei wird der Ton nicht auf eine Frequenz definiert sondern in ganztonschritten einer Oktave untergeordnet. Eine Oktave besteht aus 8 ganzen Tönen oder 12 Halbtönen. Der Kammerton 'a' entspricht 440 Hz bzw. 444 Hz.

Tongemisch

Ein Tongemisch ist Hörschall, der aus reinen Tönen unterschiedlicher beliebiger Frequenzen zusammengesetzt ist.

Klang

Klang besteht aus Hörschall mit seinen jeweiligen Grund und Obertönen. Der Klang kann hierbei nicht nur auf die gespielte Note angewandt werden, sondern auch den Charakter des auftretenden Frequenz Gemisches

beschreiben.

Rauschen

Das Rauschen ist ein statisches Schallereignis, bei dem ein kontinuierliches Frequenzspektrum erzeugt wird.

[image1604689532398.jpeg](#)

weißes Rauschen

Besteht aus theoretisch unendlich vielen sehr dicht beieinander liegende Sinusfrequenzen mit konstanter Leistungsdichte über einem Frequenzbereich.

rosa Rauschen

Besteht aus theoretisch unendlich vielen sehr dicht beieinander liegende Sinusfrequenzen mit konstanter Leistungsdichte über einem Frequenzbereich, bei denen die Amplitude der Teiltöne bei Frequenzverdopplung um den Faktor 0,7 abnimmt (-3dB). Die Spektrale Verteilungsdichte verhält sich umgekehrt proportional zur Frequenz. Das hat zur Folge, dass in jeder Oktave die gleiche Energie enthalten ist. Rosa Rauschen kann daher genutzt werden, um Räume einzumessen und Frequenzanalysen vorzunehmen.

Schallausbreitung

Die Schallquelle bringt in ihrer unmittelbaren Umgebung die Teilchen des Übertragungsmediums (zum Beispiel Luft) zum Schwingen. Dabei stoßen die Teilchen zusammen und Übertragen die Energie auf weitere benachbarte Teilchen. Dieser Vorgang wiederholt sich stetig. Mit zunehmender Entfernung von der Schallquelle nimmt auch die Schallenergie ab. Die Schwingung der Schallquelle breitet sich als Schallwelle über dem Medium in alle Richtungen aus. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit ist immer abhängig von Medium und Temperatur. In Luft breitet sich Schall mit ca. 330 m/s aus.

Schalldruck

Der Schalldruck ist der durch die Schallschwingung hervorgerufene Wechseldruck. Die Schallschwingung entsteht durch die Teilchenbewegung (sh. Schallausbreitung). Die Druckschwankungen der

Schallwelle

überlagern sich dem atmosphärischen Gleichdruck. Der atmosphärische Druck liegt bei ca. 1000 Hektopascal

(entspricht 1 bar). Der geringster hörbare Schall wird mit $2 \cdot 10^{-5}$ Pa definiert, wobei die Schmerzgrenze mit

$1,5 \cdot 10^2$ Pa angegeben wird.

Schalldruckpegel

In der Praxis wird meistens ein logarithmisches Pegelmaß zur besseren Erfassung des Schalldrucks verwendet,

da die Unterschiede des Schalldrucks sehr groß sind. Der Schalldruck wird zu einem festgelegten Bezugspunkt

p_0 , der dem aktuellen Luftdruck entspricht, in Relation gesetzt und 20-fach logarithmiert.

[image-1604689678805.jpeg](#)

[image-1604689708780.jpeg](#)

Schallfelder

Als Schallfeld beschreibt man den Bereich um eine Schallquelle in dem ein Medium zum Schwingen angeregt

wird. Im Vakuum gibt es daher kein Schallfeld, da kein elastisches Medium angeregt werden kann.

freies Schallfeld

Schall kann sich völlig ungehindert in alle Richtungen ausbreiten. Es gibt keine Hindernisse. Der Hörer bzw. das

Mikrofon erfasst den Direktschall.

diffuses Schallfeld

Der Schall wird vielfach an Wänden und Gegenständen reflektiert, gebeugt, zerstreut oder gebündelt. Es

Überlagern sich viele freie Schallfelder. Im Idealfall ist die Schallenergie im diffusen Schallfeld, im Gegensatz zum

freien Schallfeld, gleichmäßig über den ganzen Raum verteilt.

Schallquellen

Stimme

Die menschliche Stimme ist ein sehr vielfältiger Schallerzeuger und kann Klänge und Geräusche verschiedenster akustischer Zusammensetzung erzeugen.

Klangerzeugung

Die Expirationsluft, also die beim Ausatmen aus der Lunge strömende Luft, bringt um stimmhafte Laute zu erzeugen die Stimmlippen im Kehlkopf zum schwingen. Durch das sogenannte Ansatzrohr, bestehend aus den Resonatoren Mund, Nase, Nebenhöhlen und Rachen, werden die Schwingungen modifiziert.

image 1604689846779.jpeg

Formant

Als Formant bezeichnet man die Konzentration der Schallenergie in einem Frequenzband. Dies bedeutet eine Verstärkung an einer bestimmten Stelle des Frequenzbandes gegenüber dem restlichen Frequenzspektrum. Ein Formant befindet sich unabhängig der Tonhöhe immer im gleichen Frequenzband. Dessen Lage im Spektrum ist abhängig durch die Form des Klangkörpers (Instrumentenkörper, Mund- und Nasenraum) und/oder elektronischen Bandpässen und -sperrern. Die Lage der Formanten und die Zusammensetzung der einzelnen Formanten erzeugen Vokale und die Klangfarbe der Stimme bzw. des Instruments.

image 1604690035176.jpeg

Dynamik

Im Vergleich zu Musik hat die menschliche Stimme einen viel größeren Dynamikumfang, also einen viel größeren Bereich zwischen geringster und maximaler Lautstärke. Somit liegt der durchschnittliche Schallpegel der menschlichen Stimme unter dem von Musik.

image 1604690087898.jpeg

Sprachspektrum

Das durchschnittliche Frequenzspektrum der menschlichen Sprache ist Geschlechtsabhängig. Es beginnt für Männern bei 100Hz und für Frauen bei 200Hz und endet bei 10kHz. Darüber hinaus gibt es nur noch

Spektralkomponenten von Zischlauten durch S, SCH, Z oder F. Da es sich nur um Richtwerte handelt, sind die genauen Frequenzen von Mensch zu Mensch unterschiedlich, sowie auch vom Alter usw. abhängig.

[image1604690123233.jpeg](#)

Singstimme

Die Unterschiede von Sprech- und Singstimme sind nicht so gravierend wie man zuerst meinen möchte. Die Singstimme ist an festgelegte Töne gebunden. Da nur Vokale eine Tonhöhe wiedergegeben werden können werden diese bei der Singstimme betont und gedehnt wiedergegeben. Die Sprechstimme ist nicht an Töne gebunden und kann kontinuierlich in der Tonhöhe frei variieren. Vokale werden normal wiedergegeben.

Richtcharakteristik

Die menschliche Stimme ist kein Punktstrahler und somit ist auch sie, ähnlich den meisten Instrumenten, gerichtet. Geht man davon aus, dass die menschliche Stimme von vorn das komplette Frequenzband ideal abgibt so verhält sich der Frequenzgang bei Abnahme von einer anderen Richtung wie folgt.

[image1604690213518.jpeg](#)

Sprachverständlichkeit

Zur Beurteilung der Hörsamkeit von Räumen für Sprachdarbietungen, ist die Sprachverständlichkeit ein grundlegendes Kriterium. Sie wird Prozentual angegeben. Am wenigsten verständlich sind Silben, ihnen folgt die Verständlichkeit einzelner Worte. Am besten versteht der Mensch, wenn er Sätze im Zusammenhang, da das Gehirn nicht Verstandenes ergänzt. Anhand dieser Kriterien kann man festlegen ob eine gute oder schlechte Sprachverständlichkeit in einem Raum gegeben ist.

Musikinstrumente

Bei der akustischen Untersuchung von Musikinstrumenten kommen eine Vielzahl von Messdaten zusammen. Daher ist es wichtig eine anschauliche Darstellungsform zu finden. Betrachtet werden Frequenzspektrum und Amplitude über einen zeitlichen Verlauf. Die Darstellungsart der Frequenz (linear, logarithmisch) und der anderen

Größen ist je nach Zielstellung der Messung zu wählen.

Jeder Einzelton eines Instrumentes kann schon in mindestens drei zeitlich aufeinander folgende Abschnitte geteilt werden.

image1604690269368.jpeg

image1604690293485.jpeg

Schallwahrnehmung

Das Ohr

Das Ohr ist das Sinnesorgan, welches einerseits für die Wahrnehmung von Schall verantwortlich ist, andererseits aber auch als Gleichgewichtsorgan fungiert. Es teilt sich physiologisch in Außen-, Mittel- und Innenohr auf. Die nervliche Verarbeitung der Sinneseindrücke findet aber im Gehirn statt.

image1604690358552.jpeg

Außenohr

Mit Ohrmuschel, dem äußeren Gehörgang und dem Ohrkanal, dient das Außenohr zur Schallankopplung des Ohrs an das umgebende akustische Feld und wandelt die Luftschwingung in mechanische Schwingung um. Die Erhebungen und Vertiefungen der Ohrmuschel bilden akustische Resonatoren. Dadurch wird es möglich Schall aus verschiedenen Richtungen zu orten.

Mittelohr

Zum Mittelohr zählen Trommelfell, die Gehörknöchelchen mit Hammer, Amboss und Steigbügel, das ovale Fenster und die Eustachische Röhre. Das Trommelfell schwingt und regt die Gehörknöchelchen an, die als mechanischer Impedanzwandler/Drucktransformator fungieren. Das Ovale Fenster bildet die Verbindung zwischen Mittel und Innenohr und wird von den Gehörknöchelchen angeregt.

Innenohr

In der cochlea, der Gehörschnecke, wird die Schwingung in Nervenimpulse umgesetzt. Des Weiteren gehört zum Innenohr noch das Labyrinth, auch Bogengänge, die unser Gleichgewichtsorgan sind.

Die Basilarmembran

Die Basilarmembran ist etwa 33mm lang. Am ovalen Fenster hart und etwa 0,1mm breit für hohe Frequenzen und am anderen Ende weich und 0,5mm breit für tiefe Frequenzen.

Das Cortische Organ

Das Cortische Organ liegt innerhalb der cochlea auf der Basilarmembran und ist ein Schlauch gefüllt mit Endolymphe. Es ist die Schnittstelle zwischen mechanischen Schwingungen und den elektrischen Nervensignalen. Durch Bewegung der Flüssigkeit, werden Haarzellen gebogen und lösen dabei Nervenimpulse aus die an das Gehirn weitergeleitet werden.

Lautstärkepegel und Lautheit

Schalldruckpegel und empfundene Lautstärke stimmen nicht überein. Mit Hilfe von statistischen Messungen wurden daher allgemeine Festlegungen getroffen. Diese weichen von Mensch zu Mensch ab, da die Angaben lediglich ein Mittel aus der Statistik darstellen.

Hörfläche

Die Hörfläche, oder auch Hörbereich, ist die Angabe über den Bereich in dem, in Abhängigkeit von Frequenz und Schalldruckpegel, ein Schallereignis ein Hörereignis auslöst. Das Hörfeld wird einerseits durch die Hörschwelle und andererseits von der Schmerzgrenze begrenzt. Der Hörbereich beschränkt sich auf maximal 16Hz bis 20kHz.

[image1604690472803.jpeg](#)

Isophone mit Lästigkeits- und Schmerzgrenze

Isophone nennt man die Angabe über Kurven gleicher Lautstärke. Sie beschreiben das menschliche Lautstärkeempfinden in Abhängigkeit der Frequenz. Referenzfrequenz ist jeweils 1000Hz. Dort stimmen Schalldruckpegel und Lautstärkepegel überein. Anhand der Kennlinie kann man ablesen wie viel Schalldruckpegel bei 100Hz benötigt wird um die gleiche Lautheit wie bei 1000Hz zu erhalten.

Isophone werden in
Phon angegeben.

[image1604690516698.jpeg](#)

Anpassung und Maskierung

Das Gehör hat die Eigenschaft seine Empfindlichkeit dem gerade vorherrschenden mittleren Schalldruck anzupassen. Diese Art Schutzfunktion ist sehr wichtig, denn so können dauerhafte Schallereignisse die für uns nicht von Bedeutung sind ausgeblendet werden. Das Gehör konzentriert sich stattdessen auf das vorherrschende Schallereignis. Gleichzeitig setzt aber ein auf das Gehör einwirkender Reiz die Schallempfindlichkeit für andere Reize herab. Allgemein gilt, dass Schall höherer Frequenz nur dann Schall tieferer Frequenz verdeckt, wenn der Frequenzabstand gering ist. Nur mit vergleichsweise großer Intensität kann Schall tieferer Frequenz auch Schall höherer Frequenz verdecken.

Lärmpegel an öffentlichen Orten

An öffentlichen Orten, am Arbeitsplatz, im Wald oder ähnlichen herrscht ein Grundschaallpegel. Dieser muss zum Beispiel für eine Unterhaltung erstmal überboten werden damit das gewünschte Schallereignis ein verständliches Hörereignis wird.

[image1604690573199.jpeg](#)

Richtcharakteristik des Gehörs

Das Gehör nimmt Frequenzen aus unterschiedlichen Richtungen mit verschiedener Intensität wahr. Das ist wichtig um auch ohne räumliche Reflexionen ein Schallereignis einer bestimmten Richtung zuordnen zu können. Das Außenohr mit der Ausrichtung und Form der Ohrmuschel spielt dabei eine große Rolle.

[image1604690612388.jpeg](#)

Raumakustik

Die Raumakustik beschäftigt sich mit akustischen Erscheinungen in geschlossenen Räumen. Der subjektive Höreindruck kann neben allen möglichen Berechnungen nicht vernachlässigt werden.

Schallreflexion

Für die Schallreflexion gelten die Gesetze der Optik. Das gilt nur solange der Durchmesser der reflektierenden

Fläche mindestens mehrere Wellenlängen der zu reflektierten Schallwelle misst. Ist das nicht gegeben würde die

Schallwelle nicht reflektiert sondern um das Hindernis gebeugt werden.

image1604690820131.PNG

image1604690864794.jpeg

image1604690864856.jpeg

image1604690928220.jpeg

image1604690916270.jpeg

Zeitlicher Aufbau des Schallfelds

Wenn eine Schallquelle in einen Raum allseitig abstrahlt, wird dieser Schall von den Begrenzungsflächen und

Gegenständen des Raumes in Abhängigkeit von Form, Material und Größe reflektiert, absorbiert, gebeugt,

gestreut, gebündelt. Das bedeutet, dass im "schlimmsten" Fall das auftretende Hörereignis nicht mehr

zuordenbar sein wird.

Erste Reflexionen

Der Schall der nach dem Direktschall am Abhörpunkt auftritt wird erste Reflexion genannt. Sie fallen in

Abhängigkeit vom jeweiligen Raum stärker oder schwächer und mit unterschiedlicher Klangcharakteristik aus.

Dadurch haben sie einen großen Einfluss auf den Höreindruck und das räumliche Empfinden.

Nachhall

Tritt mit Verzögerung gegenüber dem Direktschall am Abhörpunkt ein. Dauer und Stärke sind verallgemeinert

überall im Raum gleich. Die Gesamtheit des reflektierten Schalls stellt das diffuse Schallfeld dar.

Dabei werden

die ersten Reflexionen als Echo empfunden und sind demnach nicht im diffusen Schallfeld enthalten.

image1604691028846.jpeg

Nachhallzeit

Bei der Nachhallzeit (RT60), wird der Zeitabschnitt gemessen, in dem der Schall nach Abschalten einer Schallquelle um 60dB abnimmt. Das entspricht einer Abnahme der Schallenergie auf einen millionsten Teil, entspricht 1/1000 des Schalldrucks.

image1604691074051.jpeg

Hallradius

Beschreibt den Abstand von einer Schallquelle, an dem Direktschall und Diffusschall den gleichen Schalldruckpegel haben. An diesem Grenzradius, oder auch Äquivalententfernung, gibt es eine Erhöhung des Schalldruckpegel um 3dB (Addition zweier gleicher Schallpegel). Innerhalb des Hallradius überwiegt der gerichtete Direktschall. Außerhalb des Hallradius überwiegt der Diffusschall ohne Richtungsinformation. Der Hallradius spielt daher bei der positionierung von Mikrofonen eine große Rolle.

image1604691154404.jpeg

Schallabsorption

Bei der Schallausbreitung, wird dem Schall stets Energie entzogen die rein in Wärme umgewandelt wird. Wenn Schall auf Hindernisse trifft, wird er zumeist nicht nur reflektiert oder anderes sondern es geht auch Energie verloren. Diesen Vorgang nennt man Absorption. Die Stärke der Absorption wird durch den Absorptionsgrad α angegeben. Dieser liegt zwischen 1 für absolute Absorption und 0 für keine Absorption. Das Absorptionsvermögen A ist proportional zu α und S .

α = Absorptionsgrad - {dimensionslos}

A = Absorptionsvermögen - $\{m^2\}$

S = absorbierende Fläche - $\{m\}$

Höhenabsorber

Wie der Name schon sagt werden hauptsächlich hohe Frequenzen absorbiert. Es handelt sich dabei um poröse Absorber, also Faserstoffe wie Teppiche, Polstermöbel, Vorhänge oder ähnliche. Durch die Schwingungsbewegung der Luft strömt diese in den vielen Öffnungen des Materials hin und her. Die Schallenergie wird in Wärme umgewandelt.

image1604691231365.jpg

Mittenabsorber

Durch vergrößerten Wandabstand, größere Schichtdicke und perforierte Abdeckung des Absorbers, kann ein Höhenabsorber auch im Bereich der Mittenfrequenzen zum Beispiel im Bereich um 500 Hz wirksam werden. Ein Lochabsorber ist eine Lochplatte mit Hohlraumsystem. Seine Eigenfrequenz kann je nach Bauart verändert werden.

[image-1604691262527.jpg](#)

Tiefenabsorber

Wie auch bei den Mittenabsorbern handelt es sich beim Tiefenabsorber um ein Hohlraumsystem. Meist werden Platten die möglichst luftdicht an einem Lattenrahmen vor eine Wand montiert. Der Zwischenraum von Wand und Platte ist mit schalldämpfenden Fasern gefüllt.

[image-1604691283587.png](#)

Absorberplatzierung

Die Absorptionswirkung eines Materials steigt mit der Schallschnelle (die Geschwindigkeit, mit der die Luftteilchen um ihre Ruhelage schwingen). Daher ist es sinnvoll einen Absorber nicht am Schnellenullpunkt, sondern im Schnellemaximum einer Schallwelle zu platzieren. Direkt an der Wand befindet sich immer ein Schnellenullpunkt.

[image-1604691335253.png](#)

Diffusität

Mit der Diffusität wird beschrieben wie und mit welcher Stärke reflektierter Schall über die Zeit am Abhörpunkt eintritt. Man unterscheidet räumliche bzw. örtliche und zeitliche Diffusität.

Elektroakustische Übertragungskette

Prinzipieller Aufbau

Die Elektroakustische Übertragungskette beschreibt die Verarbeitung und Verstärkung eines Schallereignisses.

Dabei trifft ein Schallereignis auf einen Eingangswandler und wird als elektrisches Signal in einen Addiervverstärker, also ein Mischpult gespeist. Nach der dortigen Verarbeitung, Signalspeicherung, etc. wird das elektrische Signal verstärkt und an den Ausgangswandler, also einen Lautsprecher weitergegeben und wieder in ein akustisches Schallereignis gewandelt.

Wandler

Wandler werden unterteilt in elektromagnetische, elektrodynamische, elektrostatische/dielektrische, magnetostriktive und piezoelektrische Wandler.

Wandlerarten

In der Audiotechnik finden hauptsächlich drei Wandlerarten Anwendung.

Elektromagnetischer Wandler

Bei diesem Wandlertyp wird der Luftschall von einer Membran aufgenommen und in mechanische Schwingung umgewandelt. An der Membran ist ein Anker gekoppelt. Dieser bewegt sich nahe einem Permanentmagneten der von einer Spule umwickelt ist bewegt. Durch diese Bewegung wird in der Spule eine Spannung induziert die sich proportional zur Membranschwingung verhält. Der Wandler ist reversibel.

Elektrodynamischer Wandler

Auch hier ist ein Permanentmagnet fest verbaut. Im Unterschied zum elektromagnetischen Wandler ist beim elektrodynamischen Wandler eine Schwingspule verbaut nicht fest mit dem Magnet sondern der Membran verbunden ist und mechanisch geführt wird. Solange sich die Spule im homogenen Magnetfeld des Permanentmagneten bewegt ist dieser Wandlertyp verzerrungsfreier als der Elektromagnetische Wandler. Die meisten dynamischen Mikrofone, sowie dynamische Lautsprecher und Kopfhörer arbeiten nach diesem Prinzip. Der Wandler ist also auch reversibel.

[image1604827311294.jpeg](#)

Elektrostatistischer / Dielektrischer Wandler

Dieser Wandlertyp wird mit einer konstanten Ladung (Q) betrieben. Es gibt eine mit der Membran verbundene, und eine feste Kondensatorplatte. Wird die Membran in Schwingung versetzt, ändert sich der Elektrodenabstand. Das hat zur Folge, dass sich die Kapazität des Kondensators ändert. Es fließt ein Ausgleichsstrom durch einen Widerstand, der zwischen Wandler und Spannungsquelle geschaltet ist und an dem eine zur Membran proportionale Wechsellspannung abzugreifen ist. Der Wandler ist reversibel.

[image1604827370076.jpeg](#)

Magnetostriktiver Wandler

Der Wandler wird hauptsächlich für Sonarortung und im Ultraschallbereich genutzt. Man bedient sich der Längenänderung ferromagnetischer Materialien, wenn sie einem Magnetfeld ausgesetzt werden. Der Wandler ist reversibel.

Piezoelektrischer Wandler

Der Piezoelektrische Effekt, bei dem an der Oberfläche bestimmter Kristalle oder polykristalliner Stoffe elektrische Ladungen auftreten, wenn diese verformt werden. Diese Technik wird heutzutage in der Audiotechnik nicht mehr genutzt.

Mikrofone

Die richtige Auswahl des Mikrofons für den entsprechenden Anwendungsbereich ist einer der größten Faktoren um eine korrekte Übertragung zu gewährleisten. Der Komplexität dieses Wandlers geschuldet, gibt es nicht nur eine riesige Auswahl an verschiedenen Mikrofonen, sondern auch eine beachtliche Menge an Parametern die es bei der Wahl des Mikrofons zu berücksichtigen gilt. Einige wenige und wichtige sollen hier Erwähnung finden.

Übertragungsfaktor / Übertragungsmaß / Empfindlichkeit

Der Übertragungsfaktor gibt die Größe der abgegebenen Spannung eines Mikrofons in Bezug auf den einwirkenden Schalldruck.

Übertragungsbereich

Der Übertragungsbereich gibt den für Tonaufnahmen nutzbaren Frequenzbereich eines Mikrofons an.

Üblicherweise liegt der zwischen 20 Hz und 20 kHz. Sollte ein Mikrofon auch tiefere Frequenzen aufnehmen so gilt

es diese mit einem Hochpassfilter zu minimieren. Auch Frequenzen oberhalb unseres Hörbereichs sollten gekürzt

werden, da verursacht durch Demodulationseffekte auch im Hörschall Störungen auftreten könnten.

Frequenzgang

Die Frequenzkurve ist die grafische Darstellung der Abhängigkeit des Übertragungsmaßes zur Frequenz.

[image1604827784396.jpeg](#)

Nahbesprechungseffekt

Beim Nahbesprechungseffekt handelt es sich um ein Phänomen, was zumeist bei dynamischen Mikrofonen zu

finden ist. Dabei gibt es eine starke Anhebung der Bässe bei der Besprechung im Nahfeld. Ab wo genau der

Effekt eintritt ist jeweils vom Mikrofontyp und Hersteller abhängig.

[image1604828331189.jpeg](#)

Störpegel

Der Störpegel ist einer der wichtigsten Qualitätsparameter eines Mikrofons. Durch kleinste Bewegungen von

Ladungsträgern in elektrischen Bauteilen, wie zum Beispiel Spulen, Widerständen und Halbleitern entsteht ein

Rauschen ohne, dass es eine Schalleinwirkung gibt. Dieses thermische Rauschen tritt besonders stark beim

Impedanzwandler eines Kondensatormikrofons auf und kommt einem weißen Rauschen gleich.

Grenzschalldruck und Aussteuerungsgrenze

Der Grenzschalldruck beschreibt eine Obergrenze unter welcher das Mikrofon einen Klirrfaktor von meist 0,5%

oder manchmal auch 1% nicht überschreitet. Dieser liegt bei dynamischen Mikrofonen in etwa zwischen 40 und

200 Pa, was einem Schalldruckpegel von 126-140 dB entspricht. Da dynamische Mikrofone meistens einen noch

größeren Schalldruck aufnehmen können, wird bei ihnen diese Angabe häufig weggelassen.

Impedanz und Nennabschlussimpedanz

Die Nennabschlussimpedanz ist der elektrische Wechselstrom-Abschluss-Widerstand mit dem es durch den es von der Eingangsimpedanz des Mikrofonverstärkers belastet ist.

Bauformen von Richtmikrofonen

Dank gemeinsamer Empfängerprinzipien ergeben sich auch gemeinsame Konstruktionsmerkmale, die durch die Akustik des Schallempfängers, nicht aber von der Konstruktion des Wandlerprinzips, abhängig sind.

Druckempfänger

Bei einem Druckempfänger ist das Innere der Kapsel durch eine Membran vom umliegenden Raum Schalldicht

getrennt. Damit innerhalb der Kapsel der gleiche Luftdruck wie außerhalb herrscht, gibt es eine kleine Öffnung.

Diese kann allerdings nicht die schnellen Druckschwankungen des Schalls ausgleichen. Die Membran des

Empfängers wird immer dann bewegt, wenn der Druck von außen auf die Membran vom Innendruck abweicht.

Auch von hinten oder von der Seite verursacht der Schall Änderungen vor der Membran, wenn die Schallwellen

um das Mikrofon gebeugt werden. Daher kommt der Druckempfänger einer kugelförmigen Charakteristik gleich

die nur im Bereich der von der Seite auftreffenden hohen Frequenzen einen Pegelabfall haben.

[image-1604828637933.jpeg](#)

[image-1604828633494.jpeg](#)

Druckgradientenempfänger

Im Vergleich zum Druckempfänger gibt es beim Druckgradientenempfänger keine geschlossene Kapselrückseite, somit wirkt der Schalldruck von beiden Seiten auf die Membran ein. Die Schalldruckdifferenz

wird auch Druckgradient genannt. Gibt es keinen Unterschied zwischen den Drücken auf beiden Seiten, wird die

Membran nicht ausgelenkt. Trifft Schall genau von der Seite auf wird die Membran also nicht bewegt. Durch

Laufzeitglieder zwischen Membranvorder- und Membranhinterseite, kann über die für den Druckgradientenempfänger typische Achtcharakteristik hinaus, auch noch eine Nieren-, Super- und Hypernierencharakteristik erzeugt werden. Möglich ist das auch durch eine Überlagerung von Achter- und

Kugelrichtcharakteristik.

Richtwirkung und Frequenzabhängigkeit

Für die verschiedenen Anwendungsbereiche in der Audiotechnik gibt es zu den unterschiedlichen Wandlerprinzipien auch unterschiedliche Richtcharakteristiken für Mikrofone. Sie geben Auskunft über die optimale Besprechungsrichtung des Mikrofons. Wichtig sind diese charakteristischen Richtungsmerkmale um gezielt Schallereignisse aufnehmen zu können während unerwünschte Geräuschkulissen größtenteils ausbleiben. Sie werden erzielt durch die mechanisch-akustische Konstruktion.

Richtungsfaktor

Der Richtungsfaktor ist ein dimensionsloser Wert, der das Verhältnis des Feld-Übertragungsfaktors für eine ebene Schallwelle aus einer bestimmten Richtung definiert.

Richtungsmaß

Das Richtungsmaß ist die Angabe über den Richtungsfaktor in dB. Diese Angabe ist sehr wichtig um das Mikrofon in die richtige Aufnahmeposition zu bringen.

[image-1604828709518.jpeg](#)

[image-1604828838642.jpeg](#)

Lautsprecher

Lautsprecher sind das Gegenstück zu den Mikrofonen und zählen zu den elektroakustischen Wandlern. Sie wandeln das elektrische Signal in ein akustisches Schallsignal um. Ein Lautsprecher kann auch als System aus mehreren Lautsprechern in einem gemeinsamen Gehäuse verstanden werden. Ein Lautsprecher an sich kann kein befriedigendes Schallereignis erzeugen und ist daher immer in Verbindung mit einer akustischen schallführung, wie zum Beispiel Schallwände, Boxen und Trichter. Auch bei Lautsprechern gibt es verschiedene Wandlerprinzipie. Dabei spielen elektrodynamische, dynamische und elektrostatische Lautsprecher eine Rolle,

während piezoelektrische und magnetische Lautsprecher in der Audiotechnik keine vordergründige Anwendung finden.

Dynamische Lautsprecher

Der dynamische Lautsprecher ist die am weitesten verbreitete Lautsprecherart. Mit ihm kann ein hoher Schallpegel über ein breites Frequenzband erzeugt werden. Der Wirkungsgrad liegt dennoch bei meist unter 10%. Der dynamische Lautsprecher arbeitet wie das dynamische Mikrofon, nur in umgekehrter Richtung. Man unterscheidet Konus-, Kalotten-, Druckkammerlautsprecher sowie Bändchenlautsprecher und Flachmembranlautsprecher.

Konuslautsprecher

Konuslautsprecher sind gut geeignet als Tief- und Mitteltöner, bzw. als Breitbandlautsprecher. Durch eine sehr weiche Einspannung der Membran wird eine niedrige Resonanzfrequenz erzeugt, welche das Frequenzband des Lautsprechers zu den tiefen Frequenzen hin begrenzt. Zu den höheren Frequenzen hin schwingt die Membran nicht mehr als Gesamtes. Dadurch entstehen Auslöschungen und Überlagerungen, die sich negativ auf die Richtcharakteristik und den Frequenzgang auswirken.

[image1604829194442.jpeg](#)

Kalottenlautsprecher

Der Kalottenlautsprecher ist ähnlich dem Konuslautsprecher aufgebaut. Allerdings ist er kleiner, schwingt im gesamten Übertragungsbereich kolbenförmig und strahlt in einem breiten Winkel gleichphasig ab. Er findet häufig Anwendung als Hochtöner in einem Lautsprechersystem und ist auch bei Hornlautsprechern verbaut.

[image1604829232378.jpeg](#)

Hornlautsprecher

Hierbei wird ein Kalottenlautsprecher an einen genau definierten Schallraum angeschlossen. Dieser besteht aus einem Schalltrichter und einer Druckkammer. Durch das Horn wird eine kleine Fläche die mit großer Amplitude schwingt zu einer großen Fläche die mit kleiner Amplitude schwingt transformiert. Wegen der enormen Horngröße die für tiefe Frequenzen benötigt wird, findet diese

Lautsprecherform meist bei Hochtönern Anwendung.

image 1604829297439.jpeg

Koaxiallautsprecher

Ein Koaxiallautsprecher besteht aus zwei auf einer Achse kombinierten Lautsprechern, die eine zeitrichtige, punktförmige Abstrahlung ermöglichen sollen. Man setzt dazu einen Hochtöner vor einen Tief-/Mittentöner. Bei einigen Systemen wird ein gemeinsamer Permanentmagnet aber einzelne Schwingspulen verwendet. Angewandt wird die Technik häufig in der Automobilindustrie.

Biegewellenlautsprecher

Bei dieser Lautsprecherart ist die Membran nicht steif sondern elastisch. Dabei werden auf der Membran Biegewellen erzeugt. Das System ist sehr breitbandig und am Rand wird durch einen Wellenwiderstand verhindert, dass Reflexionen auftreten. Das System hat allerdings einen geringen Wirkungsgrad und bei hohen Pegeln teils Verzerrungen. Es ist in der Praxis nicht so häufig zu finden.

Elektrostatische Lautsprecher

Der Lautsprecher funktioniert mit zwei Kondensatorplatten und ist auch ein Biegewellenlautsprecher. Allerdings fordert er eine sehr hohe (mehr als 100V) Vorspannung. Bei großen Amplituden entstehen Verzerrungen, weil die Abstände der Membran zu den Elektroden deutlich ungleich wird. Er ist im Tieftonbereich ungeeignet und findet in der Praxis nur bei Liebhabern Gehör.

image 1604829374180.jpeg

Akustischer Kurzschluss bei Lautsprecherboxen

Wenn die Membran eines Lautsprechers ausgelenkt wird, entsteht auf einer Seite des Lautsprechers ein Überdruck auf der anderen Seite ein Unterdruck. Ist der Membrandurchmesser im Vergleich zur Wellenlänge des abgestrahlten Schalls klein, so gleichen sich Über- und Unterdruck über den Lautsprecherrand hinweg aus. Ein akustischer Kurzschluss, also das Auslöschung des akustischen Signals, ist die Folge. Von diesem sind dann die

tiefen Frequenzen durch ihre größere Wellenlänge betroffen.

Um einen solchen Kurzschluss zu vermeiden bedient man sich einer akustischen Schallführung. Dies kann

Beispielsweise durch eine Schallwand realisiert werden. Zumeist sind diese als nach hinten geöffnete Boxen, also

als abgeknickte Schallwände zu finden. Zur verbesserten Abstrahlung tiefer Frequenzen, werden bestimmte

geschlossene Boxen verwendet, die als Bassreflexsysteme oder Resonanzboxen bekannt sind.

[image-1604829452871.jpeg](#)

Signalübertragung

Die Übertragung des Signals wird mit verschiedenen Kabeln und Symmetrierboxen realisiert.

unsymmetrisches Kabel

Das unsymmetrische Kabel besteht aus einem einzelnen Leiter, einer Ummantelung und einer Gummiisolierung

zum Schutz des Kabels. Meist handelt es sich dabei um sogenannte Klinkensteckerkabel.

symmetrisches Kabel

Das symmetrische Kabel besteht aus zwei Leitern, einer Ummantelung und einer Gummiisolierung zum Schutz

des Kabels.

Symmetrierung

Die Symmetrierung des Signals erfolgt, um Störsignale die trotz Abschirmung das Nutzsignal im Kabel

beeinflussen wieder auszulöschen. Dafür wird das Signal am Eingang in einem der beiden Leitern um 180°

Phasenverschoben. Nach dem Übertragungsweg wird aus den beiden Phasen die Differenz gebildet. Da sich

eine Störung auf dem Übertragungsweg auf beide Phasen auswirkt, wird das Störsignal dabei ausgelöscht.

Analoge Tonregieanlagen

Mischpulte, auch als Summierverstärker zu finden, ermöglichen eine Pegelanpassung und Klangbearbeitung der verschiedenen Signale. Dadurch können diese zu einem Mix zusammengefügt werden. Das Signal, welches am Eingang angelegt wird durchläuft immer genau einen Weg der auch Verstärkerkette genannt wird. Diese kann aus einzelnen Komponenten bestehen, oder auch als komplette Funktionsgruppe vorliegen. Meist besteht eine Tonregieanlage aus Eingangsmodulen je Kanal, einem Summenmodul und einem Abhörmodul.

Eingangsmodul

Die Hauptbestandteile des Eingangsmodul sind Vorverstärker (Preamp), Equalizer (EQ), Aux-Wege (Aux/Monitor), Panoramaregler und Fader.

Eingangsbuchsen

An den meisten analogen Mischpulten finden sich sowohl Klinken- als auch XLR-Eingangsbuchsen. Für die separate Einspeisung externer Effektgeräte findet sich außerdem noch eine Insertbuchse.

Mikrofonverstärker

Während Magnetbandgeräte, Plattenspieler und sonstige Ausspielgeräte einen Studiopegel von 0dB liefern, müssen Mikrofoneingangssignale aufgrund ihres sehr niedrigen Pegels immer vorverstärkt werden.

+48V

Speist das angeschlossene Mikrofon mit einer Versorgungsgleichspannung von +48V. Baubedingt würden ohne diese zusätzliche Spannung Kondensatormikrofone nicht funktionieren.

PAD

Senkt zu hohe Eingangspegel ab um einer Verzerrung in der weiteren Signalverarbeitung entgegen zu wirken.

Phase

Hier kann die Phase gedreht werden. Nimmt man ein Schallereignis mit zwei verschieden positionierten Mikrofonen auf, kann es zur Phasenverschiebung und somit zur Auslöschung im Summierverstärker kommen.

HPF

Der sogenannte Hochpassfilter senkt Frequenzen unterhalb einer bestimmten, zum Teil einstellbaren, Grenzfrequenz ab.

Klangregelung

Die Klangregelung, oder auch Equalizer, ist die Mischpulteinheit, in der der Frequenzgang des eingehenden Signals angepasst werden kann. Das passiert indem bestimmte Frequenzgruppen verstärkt oder gedämpft werden. Häufig besteht die Einheit aus Regelbaren Höhen und Tiefen, sowie einem oder zwei parametrischen Mittenreglern. Klangfehler in der Übertragungskette können somit ansatzweise ausgeglichen werden.

Aux-Wege

Als zusätzlicher Auspielweg für Monitoranwendungen oder zum Anschluss zusätzlicher Beschallungselemente können Aux-Wege verwendet werden. Wegen ihrer vielseitigen Verwendung können sie sowohl vor, oder auch nach dem Fader geschaltet werden (Pre und Post). Dadurch werden sie an analogen Konsolen auch als Send-FX genutzt.

Panorama

Mit dem Panoramaregler wird die Stereoverteilung des Signals beeinflusst. Das Eingangssignal kann also nicht nur Mono links und rechts abhörbar sein, sondern auch primär auf eine Seite gelegt werden.

Fader

Mit dem Fader wird die Lautstärkeregelung des Eingangssignals vorgenommen.

PFL

Mit dem so genannten Pre-Fade-Listening ist es möglich den Kanal einzeln über den Kopfhörerausgang abzuhören, und die Pegelanzeige für eben diesen Kanal sichtbar zu machen.

Mute

Mit dieser Funktion kann der einzelne Kanalzug stumm geschaltet werden.

Summenmodul

Im Summenmodul, oder auch Master Sektion genannt, werden die Signale der einzelnen Channel Strips zusammengeführt und können in Summe über einen Master Regler der meistens Stereo ausgeführt wird gefahren werden. Je nach Mischpult gibt es auch hier eine Mute- und oder PAFL-Taste.

Abhörmodul und Kontrollinstrumente

Für die visuelle Darstellung der Eingangssignale gibt es verschiedene, mit LED oder Zeigern realisierte, Ausgabegeräte. Man unterscheidet dabei Peak-Program-Meter und VU-Meter

Peak-Program-Meter

Das Peak-Program-Meter zeigt den aktuellen Spitzenpegel des Eingangssignal oder Ausgangssignals an und folgt dabei dem jeweils angemeldeten PFL.

VU-Meter

Das VU-Meter zeigt im Vergleich zum PPM nicht den aktuellen Maximalpegel sondern den Dauerpegel, also ein zeitlich anhängiges Mittel des Pegels.

Headroom

Headroom, auch Aussteuerungsreserve genannt, ist der Bereich zwischen Nenn- / Arbeitspegel und dem technischen Maximalpegel. Er wird als Sicherheitszone gelassen.

Soundbearbeitung / Klanggestaltung

Um die Klangeigenschaften von Eingangssignalen anzupassen oder zu modifizieren kommen verschiedene Geräte der Audiotechnik zum Einsatz. Sie können einzeln geschaltet, aber auch gemeinsam Einfluss auf das Signal nehmen. Sie werden dann hintereinander geschaltet.

Pegelregelung

Pegelsteller

Der Pegelsteller ist ein einstellbares Dämpfungsglied mit integriertem Aufholverstärker, welcher Stufenlos verstellt werden kann. Arbeitspunkt ist der mit der Vorverstärkung eingestellte Studiopegel von 0 dB. Er bildet die Trennung zwischen Dämpfungs- und Verstärkungsbereich. Zusammen bilden die beiden den Arbeitsbereich, welcher zwischen -15dB und +15dB liegt. Der Bereich unter dem Dämpfungsbereich nennt sich Ausblendbereich. Der Pegelsteller ist logarithmisch aufgebaut, sodass man im Arbeitsbereich auch kleinste Lautstärkeänderungen vornehmen kann.

VCA

VCA steht für „Voltage Controlled Amplifier“. Dieser ist eine Art Fernsteuerung für eine selbstbestimmte Auswahl von Fadern und kann mit Hilfe einer Steuergleichspannung diese ähnlich einer Subgruppe herunter regeln. Das Tonsignal geht nicht über das Stellglied selbst sondern nur durch den vom Stellglied beeinflussten Verstärker.

Filter

Man unterteilt Filter grundsätzlich in Hochpass, Tiefpass und Bandpass. Sowohl an analogen als auch an digitalen Konsolen finden sich Equalizer die alle diese Filterformen beinhalten und somit eine hohe Flexibilität schaffen. Die Flankensteilheit ist der Dezibelwert, um den das Signal pro Oktave ansteigt oder Abfällt.

Frequenzweiche

Filter finden auch bei Frequenzweichen Anwendung, wenn Lautsprecher nur mit einem bestimmten Frequenzband gefahren werden sollen. Es entstehen so genannte Übergangsfrequenzen die auf beiden Lautsprechern, allerdings gedämpft, wiedergegeben werden.

Shelving-Filter

In der Praxis werden Hoch- und Tiefpassfilter in Form von Shelving Filtern, auch Kuhschwanzfilter genannt, realisiert.

Parametrischer Equalizer

Beim parametrischen EQ durchläuft das Signal mehrere in Serie geschaltete Filter. Dabei kann am Parameter eingestellt werden bei welcher Frequenz der Filter arbeiten soll. Bei analogen Pulten sind die einzelnen Filter fest auf verschiedene Bandbereiche verteilt. Bei digitalen Pulten bleibt diese Einschränkung aus. Hier können die in Summe meist 4 Filter nach Belieben im Frequenzband verteilt werden. Des Weiteren ist hier auch die Güte des Filters einstellbar.

Graphischer Equalizer

Im Vergleich zum Parametrischen, hat der graphische Equalizer einen Schieberegler pro festgelegter Frequenz. Die Regler bilden somit näherungsweise den Frequenzgang des Equalizers ab. Auch wenn die Arbeitspunkte und Güten der Filter festgelegt sind, so ist der graphische EQ, durch die Masse an regelbaren Filtern je nach Anwendungsbereich um einiges feiner als der parametrische Equalizer und wird daher bevorzugt im Studio, oder live zur Anpassung von Summensignalen für Monitore oder PA genutzt.

Dynamik

Kompressor und Limiter

Kompressoren dienen in der Audiotechnik zur automatisierten Dynamikeinengung. Es sind Regelverstärker, deren Verstärkung sich gegenläufig zum Pegel des Eingangssignals verändert. Wird eine bestimmte Schwelle (Threshold) überschritten so regelt der Kompressor das Originalsignal um einen bestimmten Faktor (Ratio), z.B. 2:1, nach unten. Wie schnell der Kompressor auf den eingestellten Wert nach Überschreiten der Schwellenspannung herunterregelt, kann mit der Attackzeit eingestellt werden. Mit Hold wird die Zeit eingestellt, die der Kompressor auch nach Unterschreiten der Schwellenspannung noch im selben Zustand verharren soll, bevor der Release einsetzt, welcher die Zeit angibt die benötigt wird um die Kompression wieder rückgängig zu machen.

[image-1604830007281.jpeg](#)

Multibandkompressor

Der Multibandkompressor ist eine Serie von Kompressoren, die parallel in einem jeweils abgestimmten Frequenzbereich arbeiten.

Deesser

Ist eine Art von Kompressor, welcher nur Einfluss auf die obersten hörbaren Frequenzen nimmt. Sein Arbeitsbereich ist einstellbar und er dient dazu, z.B. bei Sprachübertragungen übertriebene Zischlaute aus dem Signal zu dämpfen.

Ducking

Beim Ducking wird der Kompressor über ein Side-Gain Signal gespeist. Eine Anwendung für diese Art von Kompressor wäre Sprache, die über einem beliebigen anderen Signal gut zu verstehen sein soll.

Limiter

Der Limiter ist die Extremform vom Kompressor, welcher mit einer maximalen Begrenzung reagiert sobald der Eingangspegel den Schwellpegel überschreitet. Er ist meist zur Schutzfunktion in Lautsprechern verbaut. Da er sehr radikal in den Dynamikbereich eingreift ist er als musikalisches Gestaltungsmittel mit Vorsicht zu genießen.

Expander und Noise Gate

Expander und Noise Gate stellen das Gegenstück zu allen Arten von Kompressoren dar, da sie die Dynamik nicht einschränken sondern verstärken.

Expander

Der Expander arbeitet entgegengesetzt wie der Kompressor. Das Signal wird solange um einen einstellbaren Faktor, die Expansion, heruntergeregelt bis ein bestimmter Schwellwert überschritten ist. Nach Überschreiten von diesem Schwellwert wird das Signal unbeeinflusst übertragen.

Noise Gate

Das Noise Gate ist das Extrem zum Limiter, bei dem vor einem eingestellten Schwellwert gar kein Signal durchgelassen wird. Erst nach Erreichen des Schwellwertes springt das Ausgangssignal von 0 auf

den
eingestellten Schwellwert. In Verbindung mit den Zeitparametern Attack, Hold und Release findet
diese Art von
Dynamikeffekt sehr häufig Anwendung bei der Abnahme von Schlagzeugen.

Revision #7

Created 6 November 2020 18:50:23 by clemens.barnikow

Updated 8 November 2020 15:32:42 by clemens.barnikow